

PEMBUATAN KOMPONEN AEROSPACE AI 6082 - T6511 DENGAN METODE ONE STOP MACHINING MENGGUNAKAN MESIN CNC MULTITASKING

Gunawan Refiadi

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin STKIP Sebelas April, Sumedang

Email : g4refiadi@gmail.com

Abstrak

Metode *One stop machining* memiliki keunggulan dalam hal kecepatan proses yang optimum diikuti pencapaian karakteristik geometrik yang baik. Penelitian ini bertujuan membuktikan keunggulan metode tersebut melalui pembuatan komponen *aerospace* berbahan AI 6082-T6511. Dengan menganalisis proses *plan*, mengawal proses pemesinan, dan melakukan analisis statistik terhadap karakteristik geometrik produk, diketahui bahwa metode *one stop machining* dapat dilakukan pada mesin CNC *multitasking*. Adapun proses-proses yang dapat dilakukan secara simultan pada mesin ini meliputi *facing*, *drilling*, *counter boring*, *turning*, dan *cutting*. Karakteristik geometrik produk yang dihasilkan memenuhi kategori *GO*, yaitu telah memenuhi kriteria-kriteria standar produk yang baik. Secara statistik berada dalam jangkauan toleransi disain produk komponen *aerospace* dengan selang kepercayaan 99,8%.

Kata kunci : karakteristik geometrik, CNC *multitasking*, *one stop machining*, kategori *GO*

Pendahuluan

Aluminium (Al) merupakan logam terbanyak kedua setelah besi (Fe). Menurut *Aluminum Standard and Data*, Al dapat dikelompokkan menjadi Al-murni komersil, *Al-alloys*, *strain-hardenable*, *heat treatable*, *wrought* (tempa), *cast* (coran), dan *specification limits and Test Direction* (Kaufman, 2000).

Pencirian Al mengacu kepada sistem yang dibuat oleh *The Technical Committee on Product Standards of the Aluminum Association* mengikuti standar ANSI-H35.1 (ASM, 2003). Dalam bentuk *wrought* dan *cast*-nya, *Al-alloys* dikenali dari empat digit angkanya. Seri 6082 misalnya, adalah *wrought-alloys*. Angka (6) menunjukkan *Mg* dan *Si* sebagai unsur paduan utamanya yang membentuk senyawa *magnesium silicide*, Mg_2Si . Angka (0) menunjukkan komposisi orisinal. Angka (82) mengindikasikan spesifikasi paduan khusus. Seri A224.0 adalah *cast-alloys*. Huruf (A) menunjukkan modifikasi paduan awal atau batas *impurity*. Angka (2) berarti unsur Cu sebagai paduan utama. Angka (24) paduan khususnya. Digit keempat (0) menunjukkan hasil *castings* (ASM, 2003).

Selain huruf dan digit utama, paduan Al *wrought* dan *cast* dikenali dari huruf dan digit perlakuannya. Misalnya T6511, huruf (T) berarti paduan diberi perlakuan panas untuk mendapatkan struktur *temper* yang lebih stabil daripada kondisi *as-fabricated* (F), *annealed* (O), dan *strain hardened* (H). Angka (6) – *solution treatment* diikuti *artificially aged*. Angka (511) adalah *stress relieving* dengan permanen set 1-3% *stretching* pada produk ekstrusi diikuti *straightening* untuk memenuhi standar toleransi. Jika digit terakhir nol (510), maka *stress relieve* hanya berupa *stretching* saja (ASM, 2003).

Industri *aerospace* menuntut ketersediaan material Al kekuatan tinggi untuk dapat diaplikasikan pada jenis-jenis pesawat; helikopter, jet, ruang angkasa, dan militer (Bullen, September, 2014). Airbus A320 menggunakan sekitar 80% material Al paduan (Klaus, Juni, 2011). Logam Al memiliki bobot yang ringan dan sifat mekanik spesifik yang tinggi. Struktur logam Al juga mampu beradaptasi dengan perbedaan kondisi temperatur operasional yang ekstrim. Oleh sebab itu, Al dipakai pada berbagai komponen *aerospace* misalnya; *inlet nacelle*, *fuselage skin*, *tail cone*, *floor beams*, *winglets*, *seat tracks*, *door parts*, *bulk head*, *frame*, *ribs*, dan *stringer* (Bullen, September, 2014).

Untuk menghasilkan produk komponen *aerospace* yang berfungsi sesuai kebutuhan, diperlukan komunikasi yang baik antara disainer, produsen, dan konsumen. Ketiga pihak berkomunikasi melalui gambar mesin. Dengan komunikasi ini, karakteristik geometrik berupa dimensi, geometri, posisi, dan kekasaran permukaan (Rochim, 2006) dapat difahami dengan baik. Karakteristik geometrik dicapai jika dua hal dipenuhi. *Pertama*, penentuan batas toleransi dan *kedua*, pengawalan proses produksi.

Sebuah *process plan* (Devlieg, Nov. 2011, vol 4:2) menjabarkan produk akan dibuat seefisien mungkin melalui pemilihan proses, perkakas, termasuk pemilihan mesin. Metode *one stop machining* memungkinkan gabungan proses pemrosesan berbeda pada satu mesin. Syaratnya, mesin harus memiliki kapasitas *multitasking* sehingga mampu mencapai kriteria berikut :

1. Penghematan siklus waktu komponen melalui pengurangan waktu *setting* mesin dan seting pahat potong
2. Peningkatan efisiensi proses pengerjaan sehingga diperoleh laju produksi massa yang tinggi.

Hipotesis awal bahwa CNC *multitasking* akan lebih singkat daripada CNC konvensional. Untuk dapat mempelajari proses *plan*, metode *one stop machining*, dan karakteristik geometrik produk yang dihasilkan, maka dilakukanlah penelitian lapangan dengan judul *Pembuatan komponen aerospace Al 6082 - T6511 dengan Metode One stop machining menggunakan CNC multitasking*.

Penelitian ini merupakan bagian dari upaya pelaksanaan pengabdian masyarakat secara aktif di dalam sebuah tim BUMN untuk melakukan verifikasi proses produksi komponen *aerospace* di PT. GOODRICH Pindad Aeronautical Systems Indonesia. Hasil yang diharapkan adalah dapat menyampaikan temuan perkembangan proses CNC di industri *aerospace* kepada masyarakat dan membuat pengayaan bahan ajar berbasis riset untuk perkuliahan mahasiswa.

Bahan dan Metodologi

Bahan *komponen aerospace* yang dipakai adalah Al 6082-T6511 yang disuplai oleh Thyssen Corp. Komposisi kimia dan sifat mekanik material dilihat pada Tabel-1 dan Tabel-2. Penelitian dilakukan di satu industri pembuat komponen *aerospace* (komponen) di Indonesia.

Tabel-1 : Komposisi kimia Al 6082 – T6511

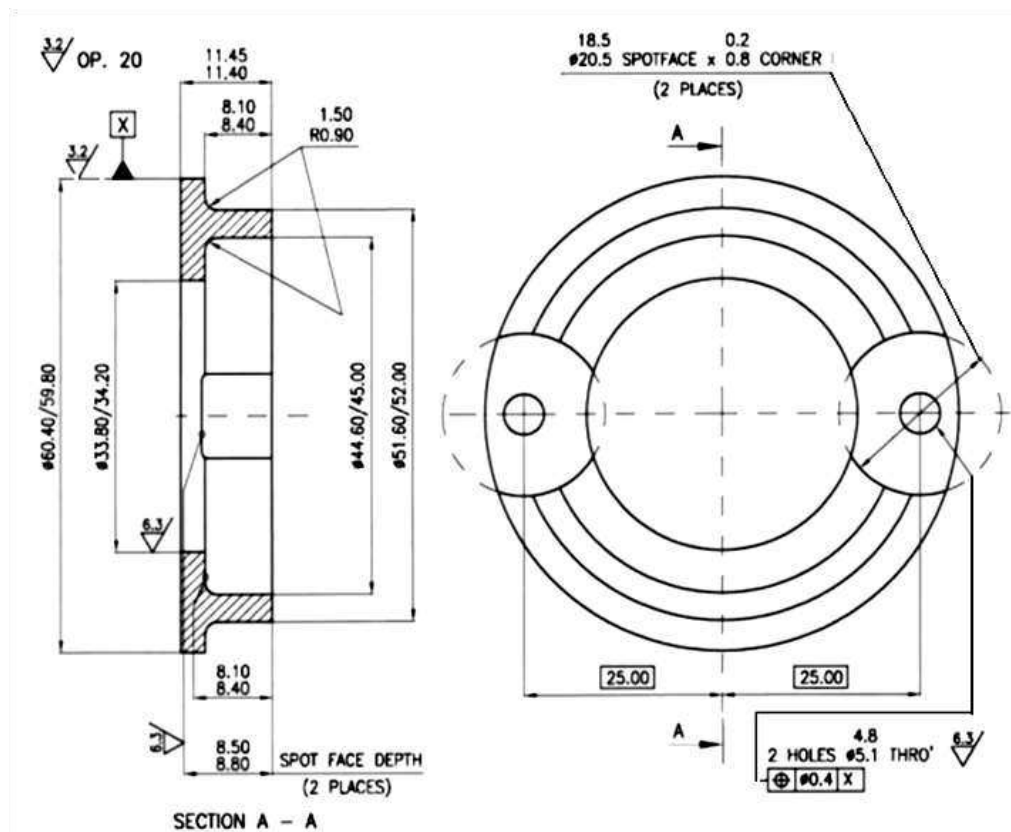
Unsur	%	Unsur	%
Mn	0,40 – 1,00	Si	0,70 – 1,30
Mg	0,50 – 1,20	Cu	0,00 – 0,10
Fe	0,00 – 0,50	Cr	0,00 – 0,25
Ni	0,00 – 0,10	Pb	0,00 – 0,05

Tabel-2 : Sifat Mekanik Al 6082 – T6511

Kekuatan Tarik (MPa)	0,2% proof stress (MPa)	Elongation (%)
340	310	11

Metodologi penelitian yang dipakai yuridis normatif dan deskriptif analisis. Alur proses dimulai dari penerimaan gambar teknik produk dari *customer* (Gambar-1) yang dikomunikasikan oleh tiga departemen; engineering, material, dan produksi. Hasilnya, proses *plan* yang disepakati memilih jenis mesin CNC multitasking untuk melaksanakan produksi. Proses manufaktur mulai dari verifikasi stok material, urutan proses pemesinan, pembuatan program komputer, penentuan jenis mesin CNC yang dipakai, proses inspeksi, perlakuan permukaan (Ratchev, Dec.2013, vol.6:2), hingga proses pengemasan produk sesuai standar ekspor. Sebelum proses produksi berlangsung, dilakukan *trial program*, yaitu menguji proses *plan* melalui simulasi (Fen, 2009). Jika hasil simulasi sesuai kriteria penerimaan kualitas, maka proses produksi sesungguhnya dapat dilakukan. Dengan proses *plan* ditentukan bagaimana suatu disain produk ditransformasi menjadi produk dengan menggunakan sumberdaya manufaktur secara ekonomis. Artinya proses *plan* menjembatani antara merancang produk dan membuat produk (Klaus, Juni, 2011).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan proses adalah jumlah produk, material, kehalusan permukaan, dan toleransi (Rochim, 2006). Pengambilan data diawali dengan pengecekan dokumen dan pemeriksaan fisik material di order (Tabel-3). Tahapan proses pembuatan proses komponen mulai dari pemotongan material hingga pelaksanaan inspeksi produk dilihat pada Tabel-4.



Gambar - 1 Spesifikasi geometrik komponen

Tabel-3 Dokumen Material Komponen

Description	Data
Part Number	1776-4022/1
Material Spec.	L111-6082/T6511/D63.5
Part Description	<i>Aerospace Stop Piston</i>
Customer	SHAFTMORELAND
Order Qty	30 pcs
Stock Length	6.04 M
BOM Length	0.534 M
Type of Matl.	Aluminum
Supplier	Thyssen
Cast Number	R1274
Certificate Data	E48125
Test Piece	NO

Identifikasi proses *plan* (Tabel-4) diwakili dengan syntax [no.operasi-kode operasi]. Proses 10-SA melaksanakan tahapan pemotongan material sesuai kapasitas panjang mesin CNC Quick Turning 200-II MY. Proses machining secara simultan (20-MZM3) dilakukan hanya dengan satu mesin atau *one stop machine process*.

Tabel-4 Proses *Plan* pembuatan komponen

No	Kode	Jenis Operasi/Pekerjaan
10	SA	Mesin : everising Pemotongan material
20	MZM3	Mesin : CNC 200 MY Proses : facing, turning drilling (c/bore), spotface, c/drill (2 hole) part off Prog. Number : p100703
40	BWI	Debur and part mark acc. to t.i. 52/4
45	QA	Check dimensions
60	FUI	Flaw detect unstressed component acc. to t.i. 3/45
90	FI	Final inspection Visual check Packaging instruction: (23-15-03) - Put component in plastic bag - Put plastic bag in standard box

Jumlah komponen dibuat sebanyak 30 pcs dan diperiksa secara visual. Kemudian 10% dari jumlah produk diuji kualitas geometriknya (45-QA) menggunakan alat ukur langsung maupun tak langsung. Alat dan objek ukur dilihat pada *Tabel-5*. Pengukuran diulang sebanyak 10x untuk setiap sampel produk. Khusus untuk dimensi *spotface depth* (8.5/8.8 mm) pengukuran dilakukan dengan perbandingan 1 : 5. Artinya dari 3 pcs produk yang diukur 10x, data yang diberikan untuk dimensi spotface depth hanya 6 data.

Tabel – 5 Alat dan Dimensi pada proses 45-QA

Alat Ukur	Dimensi	Objek
Height gauge	8.5/8.8 8.1/8.4 11.45/11.4 8.1/8.4	Spotface depth (2 plcs) Outer Base depth Height Inner Base depth
Vernier caliper	Ø33.8/34.2 Ø 51.6/52 Ø 44.6/45 Ø 60/59.8	Dia.Lubang tengah Dia.Lingkar luar Dia. Lingkar dalam Diameter Produk
Block Gauge	Ø4.8/5.1	Dia.Center Spotface
CMM	Position Ø0.4 to X	Eccentricity to the datum X
Ket: Dia. = diameter		

Hasil dan Pembahasan

Sebelum mesin melaksanakan proses, secara manual operator melakukan setting posisi nol pahat terhadap bendakerja. Kemudian operator melakukan reset program CNC terhadap posisi nol pahat. Pada posisi nol reset inilah pahat mengikuti perintah program CNC *P100703* untuk melakukan proses *metal removal* hingga menghasilkan produk akhir yang diinginkan. Dokumentasi proses *one stop machining* pada mesin CNC multitasking diperlihatkan mulai dari Gambar-2 sampai dengan Gambar-7.

Pertama kali pahat menyentuh permukaan material ditujukan untuk membentuk datum acuan yang tegak lurus terhadap sumbu benda kerja. Proses ini disebut *facing* (Gambar-3). Selanjutnya pahat melakukan dua tahap proses *turning* sepanjang 11,45 mm dengan kedalaman 0,75 mm tujuannya untuk memperoleh ukuran diameter luar komponen.



Gambar-2 Posisi pahat sesaat sebelum melakukan proses facing dan turning benda kerja

Gambar-3 memperlihatkan adanya perubahan bentuk benda kerja sebelum dan setelah turning berupa perbedaan diameter. Kemudian mesin menjalankan program penggantian jenis perkakas dari pahat menjadi bor dan memposisikan bor untuk melaksanakan proses kedua, yaitu dua tahap proses *drilling – roughing* dan *finishing*.



Gambar-3 Posisi pahat siap melakukan proses *drilling* setelah dua tahap *turning*

Gambar-3 memperlihatkan hasil proses drilling memakai bor berdiameter 20 mm berupa bagian menonjol ke dalam berdiameter 44 mm di bagian tengah benda kerja. Ukuran diameter yang lebih besar ini dikarenakan mesin memiliki fasilitas gerak vertikal sepanjang sumbu Y mesin, sehingga bor 20 mm pada koordinat center dapat digerakkan sepanjang sumbu Y untuk menghasilkan diameter 44 mm. Selanjutnya, gambar-4 memperlihatkan dokumentasi sesaat setelah mesin mengganti perkakas dari bor 20 mm menjadi bor 18 mm untuk persiapan proses *spotfacing*.



Gambar-4 Hasil proses *center drill* (dia.44 mm) yang dibentuk oleh bor 20mm dan posisi bor 18 mm untuk persiapan proses *spotfacing*

Proses *spotfacing* dilakukan dua tahap (pengkasaran dan penghalusan) pada dua posisi berbeda, masing-masing 25.00 mm dari di pusat sumbu benda kerja (lihat Gambar-1). Hasil *spotfacing* ditunjukkan pada Gambar-5 dimana benda kerja tetap dipegang oleh *chuck* mesin turning, sementara proses dilakukan dengan *metode milling*.



Gambar-5 Benda kerja hasil *spotfacing* pada dua posisi spot 25 mm dari pusat sumbu mesin *turning*. Pada proses ini diperlihatkan kemampuan mesin CNC *multitasking*

Kemampuan mesin *multitasking* diperlihatkan pada proses *spotfacing* ini. Perpindahan pahat dari pusat sumbu dan proses *spotfacing* hanya dapat dilakukan oleh mesin milling konvensional - dimana perkakas harus mampu berputar dan melakukan perpindahan sedangkan benda kerja pada posisi fix di koordinat O(0,0).

Setelah proses *spotfacing* selesai, program menjalankan tahap penggantian ukuran diameter pahat (dari 18 mm menjadi 4,5 mm) untuk melaksanakan proses *center drilling* yaitu tepat di kedua posisi sumbu *spotface*. Posisi pahat sebelum melakukan *center drilling* dilihat pada Gambar-6.



Gambar – 6 Posisi pahat sebelum melakukan proses *center drilling* pada jarak masing-masing 25 mm dari pusat sumbu mesin *turning*.

Center drilling adalah proses terakhir sebelum program menjalankan *Cutting off* yaitu pemisahan produk komponen *aerospace* dari benda kerja. Siklus proses *one stop machining* rata-rata untuk tiap produk adalah 4,35 menit. Waktu yang singkat ini diperoleh dari ditiadakannya tahap penggantian mesin. Dengan CNC *multitasking*, tahapan pemesinan berikut ini:

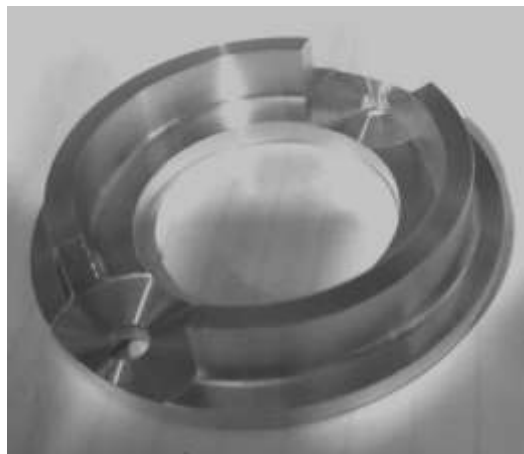
- a) Setting pahat,
- b) Bongkar-pasang benda kerja

c) Setting program & reset posisi nol pahat

menjadi hilang karena proses *turning* dan *milling* dilakukan secara simultan pada satu mesin saja. Selain hemat waktu, CNC multitasking mampu menaikkan efisiensi pemakaian material karena perhitungan panjang benda kerja didasarkan atas siklus tunggal atau satu kali setting mesin.

Produk akhir komponen hasil CNC multitasking diperlihatkan pada Gambar-7, dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Berat = 25,0 gram
2. Panjang = 11,440 mm
3. Diameter = 60,400 mm
4. Material = AlMgSi - Al6082-T6511



Gambar – 7 Produk akhir komponen *aerospace* hasil CNC *multitasking*

Pengukuran diameter lubang center spotface menggunakan *Block Gauge* hanya menghasilkan data GO/NO GO dan bukan merupakan data angka seperti pengukuran menggunakan height gauge maupun vernier calliper [5]. Demikian pula untuk pemeriksaan visual, data yang dihasilkan bersifat kualitatif. Data CMM (*computer measuring machine*) untuk pengukuran eksentrisitas tidak ditampilkan atas permintaan perusahaan.

Hasil pemeriksaan visual dari 3 buah sample produk komponen *aerospace* (10% dari 30 pcs produk) memberikan kategori baik. Dengan hasil ini kontrol kualitas dilanjutkan ke tahap pengukuran dimensi komponen. Hasil pengukuran dimensi menggunakan alat ukur Height Gauge dan Vernier Calliper, masing-masing ditampilkan pada Tabel-6 dan Tabel-7.

Dari hasil perhitungan statistik dengan jumlah sampel 3 ($n = 1,693$) serta selang kepercayaan 99,8% diperoleh batas bawah = 5,238 dan batas atas = 11,298 untuk dimensi *base depth outer*.

Tabel – 6 Data hasil pengukuran Height Gauge

Alat Ukur : HEIGHT GAUGE					
Dimensi : 8.1/8.4 mm (Outer)					
No	1	2	3	4	5
I	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27
	8.26	8.27	8.27	8.27	8.27
II	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
III	8.28	8.28	8.28	8.28	8.28
	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27
Dimensi : 8.1/8.4 (Inner)					
No	1	2	3	4	5
I	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25
	8.26	8.25	8.25	8.25	8.25
II	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
III	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
Dimensi : 11.45/11.40					
No	1	2	3	4	5
I	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3
	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 3	1 1 . 4 4
II	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4
	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4
III	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4
	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4	1 1 . 4 4

Keterangan : No. I, II, III menunjukkan sampel. Angka 1, 2, 3, 4, dan 5 adalah posisi pengukuran.
Satuan pengukuran dalam mm.

Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa seluruh ukuran produk (rata-rata = 8,268) berada di dalam jangkauan toleransi. Untuk dimensi *base depth inner* batas bawahnya = 5,227 dan batas atas = 11,287. Artinya, seluruh ukuran produk dengan rata-rata = 8,257 berada di dalam jangkauan toleransi.

Untuk dimensi tinggi komponen, diperoleh batas atas (8,407) dan batas bawah (14,467) sedangkan rata-ratanya = 11,437. Ini berarti bahwa dimensi tinggi komponen *aerospace* masih berada di jangkauan toleransi.

Untuk dimensi $\varnothing 33,8/34,20$ mm (*inner diameter dasar piston rod*), harga batas atas dan batas bawah tidak ditemukan karena keseluruhan data dari 3 sampel dengan masing-masing 10x pengukuran menunjukkan harga yang sama yaitu 34,00 mm. Kesimpulan untuk dimensi ini tidak didasarkan pada hasil statistik tetapi cukup didasarkan atas harga toleransi ukuran saja. Artinya ukuran rata-rata data 34 masih berada di daerah jangkauan toleransi ukuran 33,80 – 34,20 mm.

Tabel – 7 Data hasil pengukuran Vernier Calliper

Alat Ukur : VERNIER CALIPER					
Dimensi : \varnothing 33.8/34.20 mm					
No	1	2	3	4	5
I	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
II	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
III	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0

Dimensi : \varnothing 51.6/52 mm

No	1	2	3	4	5
I	51.78	51.78	51.78	51.78	51.78
	51.78	51.78	51.78	51.78	51.80
II	51.80	51.80	51.80	51.80	51.80
	51.80	51.80	51.80	51.80	51.80
III	51.80	51.80	51.80	51.80	51.80
	51.80	51.80	51.80	51.80	51.80

Keterangan : No. I, II, III menunjukkan sampel. Angka 1, 2, 3, 4, dan 5 adalah posisi pengukuran.

Satuan pengukuran dalam mm.

Terakhir, ukuran diameter luar badan piston rod (\varnothing 51,60/52,00) memberikan harga batas atas dan batas bawah masing-masing sebesar 48,764 mm dan 54,824 mm dengan harga rata-rata 51,794. Dengan demikian dimensi badan piston berada di daerah jangkauan toleransi, yaitu batas atas dan batas bawah besaran karakteristik geometrik.

Kesimpulan

Setelah melakukan penelusuran dokumen proses *plan*, mengikuti proses pembuatan, dan menganalisis data hasil pengukuran komponen *aerospace*, disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Proses *plan* dengan mesin CNC *multitasking* telah mampu menghasilkan siklus proses komponen yang cukup singkat, yaitu selama 4,35 menit/produk. Rangkaian prosesnya adalah *facing*, *drilling*, *counter boring*, *turning*, dan *cutting*.
2. Hasil evaluasi visual terhadap 10% produk komponen *aerospace* (3 pcs) tidak ditemukan cacat produk akibat pemrosesan. Hasil pemeriksaan dengan *blok gauge*, ukuran diameter lubang *spotface* (\varnothing 4,8/5,1 mm) kesemuanya dikategorikan GO. Dimensi *inner base* diameter komponen *aerospace* memberikan keseragaman data yang cukup (34,00 mm) berdasarkan harga toleransi disain (33,8 – 34,20). Dimensi kedalaman badan (*inner* dan *outer*), pengukuran tinggi badan, dan diameter luar badan komponen *aerospace* memberikan hasil statistik yang berada di daerah jangkauan toleransi dengan selang kepercayaan 99,8%.
3. Proses CNC *multitasking* yang dilakukan dapat ditingkatkan menjadi bentuk pengayaan bahan ajar berbasis riset. Dimana perkembangan CNC untuk industri selangkah lebih maju daripada informasi yang diberikan pada literatur primer.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terselenggara atas prakarsa PT. GOODRICH Pindad Aeronautical Systems Indonesia yang bekerjasama dengan PT.Sucofindo Indonesia.

Daftar Pustaka

ASM, I. (2003). *ASM Handbook Vol-2, Properties and Selection: Non-Ferrous & Special-Purpose Materials*. Ohio: The Materials Information Company.

Bullen. (September, 2014). Advanced Materials for Aerospace and Space Applications . *SAE Int. J. Aerosp* , 146-155.

Devlieg, R. (Nov. 2011, vol 4:2). High-Accuracy Robotic Drilling/Milling of 737 Inboard Flaps. *SAE International Journal of Aerospace* , 1373-1379.

Fen, Z. (2009). A System of rapid process Planning for machining features. *AISC proceedings* (pp. 1454-1462). AISC.

Kaufman, J. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys & Tempers*. Tennessy, USA: ASM International.

Klaus, e. a. (Juni, 2011). Developing Abrasion Test Standards for Evaluating Lunar Construction Materials. *SAE Int. J. Aerosp* . , 160-171.

Ratchev. (Dec.2013, vol.6:2). Improvement of Planning and Tracking of Technology Maturity Development with Focus on Manufacturing Requirements. *SAE International Journal of Aerospace* , 676-682.

Rochim, T. (2006). *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik, Jilid 1 dan 2*. Bandung: ITB.